

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 1980 - N. 62



ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA DIGESTION DE LA CELLULOSE ET DES PROTÉINES CHEZ LES ÉQUIDÉS PAR ANALYSE DU CONTENU GASTRO-INTESTINAL



THESE

présentée

à l'Université Claude-Bernard - LYON
(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 24 juin 1980
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Najib EL OUNI

né le 11 décembre 1952
à Menzel-Bou-Zelfa (Tunisie)



ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE

DE LYON

Année 1901. N. 52

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA DIGESTION
DE LA CELLULOSE ET DES PROTÉINES

PAR M. L. BOUTIER

PAR ANALYSE DU CONTENU GASTRO-INTESTINAL

Digitized by the Internet Archive
in 2026

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 1980 - N. 62



ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DE LA DIGESTION DE LA CELLULOSE ET DES PROTEINES CHEZ LES ÉQUIDÉS PAR ANALYSE DU CONTENU GASTRO-INTESTINAL



THESE

présentée

à l'Université Claude-Bernard - LYON
(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 24 juin 1980
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

Najib EL OUNI

né le 11 décembre 1952
à Menzel-Bou-Zelfa (Tunisie)



DE LYON

ANNO 1883



ETUDE EXPERIMENTALE DE LA DIGESTION
DE LA CELLULOSE ET DES MATIERES

CHIMIQUES

PAR ANALYSE DU CONTENU DIGESTIF



THESE

PAR

A. LEBLANC

CHIMISTE

ET DE LA FACULTE DES SCIENCES

DE LYON



1883

1883

1883

1883



PERSONNEL ENSEIGNANT
DE L'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE LYON

DIRECTEUR : Monsieur le Professeur COTTEREAU
DIRECTEURS HONORAIRES : Messieurs les Professeurs TAPERNOUX, FLORIO, FROGET

PROFESSEURS

Alimentation	M. WOLTER
Anatomie	M. BARONE
Chirurgie	M. COULON
Histologie-Anatomie pathologique	M. TISSEUR
Hygiène et Industrie des aliments d'origine animale	M. CHANTEGRELET
Maladies contagieuses	M. JOUBERT
Parasitologie	M. EUZEBY
Pathologie générale-Microbiologie	M. CUDAR
Pathologie médicale du bétail	M. COTTEREAU
Pathologie médicale des équidés	M. FONTAINE
Pathologie de la reproduction	M. BERTRAND
Pharmacie-Toxicologie	M. LORGUE
Physiologie	M. BOST
Physique-Chimie	M. DELATOUR
Zootchnie	M. FROGET
C.F.T.S.V.	M. FLACHAT Directeur

PROFESSEURS SANS CHAIRE

M^{le} LAVAL, Mrs JEAN-BLAIN, LE NIHOUANEN, CASTELLU, PRAVE, LAPRAS, DESCHANEL, BOIVIN.

MAITRE DE CONFERENCES

M. FRANCK

MAITRE-ASSISTANT AGREGE

M. KECK

MAITRES-ASSISTANTS

M^{mes} CHAUVE, RACHAIL, M^{le} COURSAT, Mrs NEYRET, DENOIX, FAU, BELLI, DEMONT, CHOMEL, GEVREY, EUZEBY, RICHARD, LEGEAY, JAUSSAUD, GARNIER.

ASSISTANTS

M^{mes} FURNEL, CHAPPUIS, HACHLER, M^{les} RAGUIN, FAUBLEE, Mrs GENIN, CHARLET, LE FOURNIER, NGO TAN Hung, FRENAY, BEZEAUD, MAY, THIEBAULT, BENOIT, THIEVENAZ.

COMPOSITION DU JURY DE THESE :

PRESIDENT : Monsieur le Professeur LAMBERT
de la Faculté de Médecine de Lyon

1er Assesseur : Monsieur le Professeur WOLTER
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

2ème Assesseur : Monsieur le Professeur FONTAINE
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

A LA MEMOIRE DE MES PARENTS

A mon frère ZOUHAIER :

que ce modeste travail soit pour lui
un témoignage de ma profonde affection
et de ma reconnaissance

A MA FEMME

en gage de mon profond attachement

A TOUS LES MIENS

A MES AMIS

A Monsieur le Professeur LAMBERT
de la Faculté de Médecine de Lyon

qui nous a fait le très grand honneur
d'accepter la présidence de notre jury
de thèse.

Hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur R. WOLTER
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

Nous avons toujours apprécié l'étendue de son savoir ainsi que son dynamisme. L'aide et la confiance qu'il voulut bien nous accorder pour l'élaboration de ce travail nous ont profondément touché.

Qu'il soit assuré de notre gratitude et de notre très grand respect.

A Monsieur le Professeur M. FONTAINE
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

Nous lui sommes très reconnaissant d'avoir bien voulu accepter de juger notre travail. Il a été pour nous l'exemple de la modestie et de la courtoisie.

Sincères témoignages de notre admiration et de notre profond respect.

A Mademoiselle A. DURIX

qui nous a aidé dans l'élaboration de notre travail.
Sincères remerciements.

A tout le personnel du service de la chaire d'Alimentation
pour leur aimable collaboration.

A tous ceux qui ont bien voulu nous aider dans la
réalisation de notre travail.

ETUDE EXPERIMENTALE DE LA
DIGESTION DE LA CELLULOSE ET
DES PROTEINES CHEZ LES EQUIDES
PAR ANALYSE DU CONTENU GASTRO -
INTESTINAL

P L A N

I N T R O D U C T I O N

I. METHODES DE DETERMINATION DE LA DIGESTIBILITE

1. Méthode de récolte totale.
2. Méthode des marqueurs

II. MATERIEL ET METHODES

A. Matériel expérimental

1. Les aliments
2. Les animaux
3. Récolte des matières sèches
4. Récolte de contenu intestinal

B. Méthodes d'analyses

1. Dosage du chrome
2. Dosage des matières protéiques
3. Dosage de la cellulose
 - a. Cellulose Scharrer
 - b. Cellulose Van Soest

C. Modalités de calcul de digestibilité

1. Digestibilité totale
2. Digestibilité partielle ou cumulée
3. Pourcentage digéré dans une portion du tube digestif

III. RESULTATS EXPERIMENTAUX

A. Digestibilité de la matière sèche

B. Evolution de la composition de la matière sèche dans les différentes portions du tube digestif

C. Digestibilité de la cellulose

1. Digestibilité totale de la cellulose
2. Digestibilité cumulée de la cellulose
3. Pourcentage de cellulose dégradée

D. Digestibilité des matières azotées

1. Digestibilité totale
2. Digestibilité cumulée

C O N C L U S I O N S

B I B L I O G R A P H I E

T A B L E D E S M A T I E R E S

I N T R O D U C T I O N

Le cheval est un monogastrique herbivore. Du point de vue de l'anatomie digestive, il se distingue par un estomac très réduit et un gros intestin possédant une capacité égale à 6 ou 7 fois celle de l'estomac, laissant dire que "tout le cheval est dans son intestin".

Quant à la digestion chez cet animal, elle se caractérise par une importante action microbienne au niveau du gros intestin, c'est-à-dire en aval des zones d'intense résorption, permettant ainsi de penser que "le cheval est une vache à l'envers".

Ainsi, le cheval étant un monogastrique (il ne peut de ce fait synthétiser les acides aminés indispensables), la ration alimentaire doit satisfaire ses besoins qualitatifs et quantitatifs en protéines.

Etant aussi herbivore, le cheval doit tirer une partie de son énergie de la cellulose.

De ces deux particularités du cheval, il ressort l'importance d'une étude sur l'utilisation digestive des protéines et de la cellulose chez cette espèce.

Pour cerner ce problème, la détermination de la digestibilité de la cellulose et de l'azote total en différents sites du tube digestif, peut nous fournir d'excellents renseignements.

Deux méthodes sont alors utilisables :

- La première est la fistulisation : elle permet à l'aide d'une canule d'effectuer des prélèvements en un point du tube digestif et ainsi de suivre l'évolution de la "digestibilité locale" au cours du temps.

- La deuxième est l'abattage de l'animal à un moment précis après le repas; elle met en évidence l'évolution du contenu digestif en différents sites.

C'est cette deuxième méthode que nous avons appliquée.

Pour cette étude, des chevaux et des poneys ont été mis à notre disposition grâce à l'amabilité de Mr le Professeur BARONE et Mr le Professeur FONTAINE. Les animaux reçoivent un même aliment complet soit granulé, soit semi-expansé, dans ce dernier cas, la partie céréalière ayant subi un traitement thermique d'expansion-extrusion.

Après une période d'adaptation d'un mois, ils sont abattus et le contenu total de chaque compartiment du tube digestif est récolté.

Notre travail comporte trois parties :

Un chapitre bibliographique fait le point sur le mode de détermination de la digestibilité. Puis nous rappelons la méthodologie expérimentale décrite par GOUY (5) et CHABOUNI (2), les protocoles expérimentaux des différents dosages effectués et les modalités d'expression des résultats.

En troisième lieu, nous exposons les résultats obtenus en faisant apparaître les différences qui existent entre les diverses méthodes de dosage utilisées, entre les espèces et entre les aliments.

Enfin, nous essayons de tirer des conclusions majeures de cette expérimentation.

I. LES METHODES DE DETERMINATION DE LA DIGESTIBILITE

La détermination de la digestibilité permet de rendre compte de la digestion et fournit une première approche du degré d'assimilation des différents aliments ingérés et donc de leur valeur alimentaire et nutritive.

La digestibilité s'exprime par le coefficient d'utilisation digestive (C.U.D.). Celui-ci peut être déterminé par deux méthodes :

1/ Méthode de récolte totale

Elle est basée sur le calcul de la différence entre les ingesta (totaux ou concernant un élément donné) et les excréta

$$\text{C.U.D.} = \frac{\text{élément ingéré} - \text{élément fécal}}{\text{élément ingéré}} \times 100$$

Elle suppose donc une connaissance exacte et précise des quantités ingérées et excrétées.

C'est une méthode particulièrement laborieuse qui nécessite l'utilisation de cages à métabolisme permettant le contrôle de la consommation (gaspillage, refus) et la récolte intégrale des matières fécales.

2/ Méthode des marqueurs

Des éléments non digestibles, naturels ou ajoutés à l'aliment sont retrouvés intégralement dans les fécès. Ces éléments, ou marqueurs, servent de témoins de l'absorption relative au cours du transit.

L'expression qui permet le calcul du coefficient d'utilisation digestive (C.U.D.) par cette méthode est la suivante :

$$\begin{array}{rcl}
 \frac{P_{100} \text{élément dans l'aliment}}{P_{100} \text{marqueur dans l'aliment}} & - & \frac{P_{100} \text{élément dans fécès}}{P_{100} \text{marqueur dans fécès}} \\
 \text{C.U.D.} = & & \frac{P_{100} \text{élément dans l'aliment}}{P_{100} \text{marqueur dans l'aliment}} \times
 \end{array}$$

Cette méthode est avantageuse car elle ne nécessite pas une cage à métabolisme ni une récolte totale des fécès.

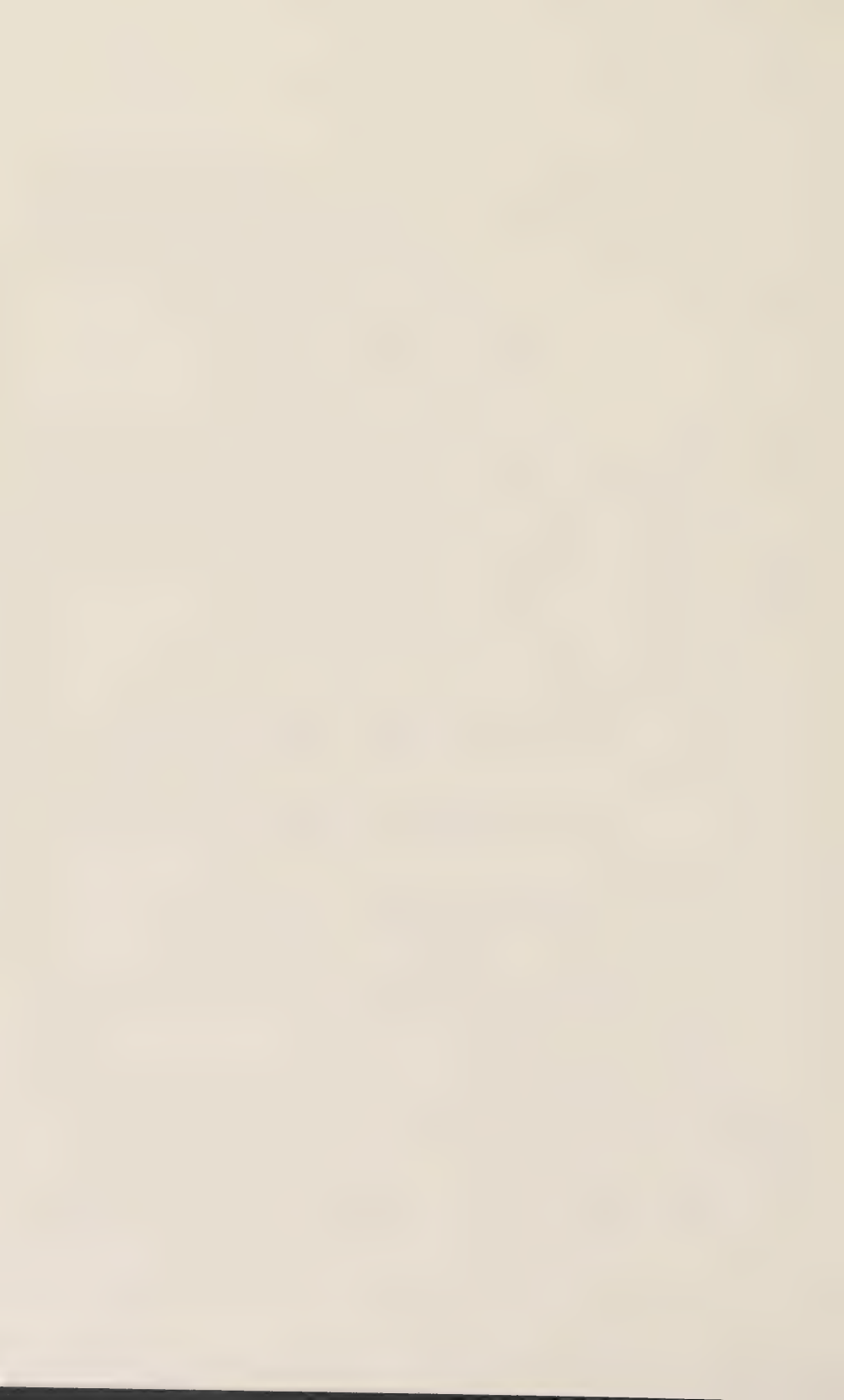
Cependant, le problème réside dans le choix du marqueur.

J.R LAPLACE (8) rapporte une liste de marqueurs utilisés, en les classant en substances naturelles et substances artificielles. Nous en citerons les principaux :

- Substances naturelles : lignine, silice
- Substances artificielles :
 - Particules de matière inerte : caoutchouc, polyéthylène, billes de verre, particules de matière plastique ...
 - Matériaux colorés ou colorants hydrosolubles : paille colorée au vert brillant, fuschine basique, rouge phénol.
 - Substances chimiques (indigestibles) : oxyde de chrome, polyéthylène glycol.
 - Composés radioactifs (indigestibles) : Chrome radioactif, terres rares ou lanthanides Yttrium (^{91}Y), Cérium (^{144}Ce).

Une autre classification de ces substances s'appuie sur leur mode d'utilisation. On distingue des marqueurs de la phase solide et des marqueurs de la phase liquide :

- Pour la phase solide : la lignine, l'oxyde de chrome, les terres rares.



- Pour la phase liquide : le polyéthylène glycol (P.E.G.) le chrome E.D.T.A. (Cr E.D.T.A.), le chrome radioactif EDTA (^{51}Cr EDTA).

De nombreuses études ont été faites avec ces substances soit pour des évaluations de la digestibilité ou du transit soit pour des comparaisons entre la méthode de récolte totale et celle des marqueurs ou même entre deux marqueurs. Ainsi PONCET C. (11) a étudié chez le mouton l'utilisation du Cérium (^{141}Ce) et conclut que celui-ci constitue un bon marqueur de la phase solide.

VAN KEULEN et al. (16) en utilisant l'insoluble chlorhydrique (cendres acido-insolubles) ont trouvé des résultats de digestibilité de la matière sèche, chez les ruminants, très comparables à ceux obtenus avec la méthode de récolte totale.

Pour notre essai deux marqueurs nous ont particulièrement intéressés l'oxyde de chrome et la lignine. Pour l'oxyde de chrome, les opinions sont très partagées. Certains auteurs parlent de résultats décevants dûs soit à l'absorption du marqueur à travers la paroi digestive et à la récupération incomplète dans les fèces, soit à une vitesse différente du transit digestif.

FRANCOIS E. et al. (4) attribuent ces échecs à la technique de dosage et proposent une nouvelle méthode après oxydation nitroperchlorique.

THILL et al. (14) proposent l'emploi de papier imprégné d'oxyde de chrome et obtiennent avec cette présentation des taux de récupération fécale comparables à ceux du Cérium (^{141}Ce) confirmant le caractère non absorbable de l'oxyde de chrome. Ils en concluent que l'oxyde de chrome sous cette forme (oxyde de chrome - papier) constitue tout comme le cérium, un bon marqueur de la phase solide.

Pour la lignine, les opinions sont aussi partagées.

THONNEY et al. (15) comparant chez les ruminants les cendres acido-insolubles à la lignine (dosée par la méthode au permanganate) ne récupèrent que 52,21 ou 59,25 p 100 de celle-ci contre à peu près 100 p 100 des cendres acido-insolubles, ils admettent donc que seules ces dernières peuvent être utilisées comme marqueur.

Par contre, les études de digestibilité faites chez les équidés sont plutôt favorables à la lignine. Ainsi OTT et al. (10) aboutissent à des résultats de digestibilité de la matière sèche et des matières protéiques brutes avec la méthode de récolte totale très comparables à ceux obtenus avec la lignine ou le polyéthylène.

WOLTER et al. (23) trouvent même de meilleurs résultats de digestibilité avec la lignine qu'avec l'oxyde de chrome, au cours d'essais de digestibilité partielle réalisés sur des poneys porteurs de fistules.

Ces diverses études sur l'utilisation des marqueurs nous conduisent à préciser les critères auxquels doit satisfaire une substance de référence. En effet, outre la récupération intégrale dans les matières fécales, le marqueur doit :

- être sans influence sur les divers processus digestifs.
- avoir une vitesse de migration identique à celle de la phase étudiée et donc rester associé aux constituants de la phase marquée (liquide ou solide) au cours du transit.
- posséder des qualités physico-chimiques permettant un dosage aisé, rapide et précis.

Malheureusement toutes ces conditions sont loin d'être satisfaites simultanément dans la majorité des cas, d'où le nombre réduit de marqueurs utilisés.

VON ENGELHARDT cité par THILL et al. (14) avance même qu'aucun des marqueurs digestifs disponibles actuellement ne peut être considéré comme parfait.

Les substances les plus fréquemment employées sont :

- le polyéthylène glycol comme marqueur de la phase liquide.
- le Cérium (^{141}Ce) et l'oxyde de chrome pour la phase solide.

Après ce bref aperçu bibliographique sur les méthodes de détermination de la digestibilité, nous abordons maintenant la partie expérimentale.

II. MATERIEL ET METHODES

Dans un précédent essai, la digestibilité d'un aliment complet a été comparée à l'aide de l'oxyde de chrome (GOUY 1976); dans notre expérimentation, nous avons utilisé deux marqueurs : l'oxyde de chrome et la lignine. Le principe de cette expérimentation consiste à nourrir des chevaux et des poneys avec un aliment de composition connue et additionné de l'oxyde de chrome (0,2 p 100).

Après abattage de ces animaux, le contenu de chaque portion du tube digestif est recueilli séparément, séché, puis stocké afin de constituer les prélèvements à analyser, en vue de déterminer la digestibilité de la cellulose et de l'azote dans les différents sites du tube digestif chez le cheval et chez le poney.

Dans un premier temps, nous allons examiner les aliments, les animaux et la préparation des prélèvements puis nous envisagerons les différentes méthodes d'analyses utilisées et les modalités de calcul de la digestibilité.

A. Matériel expérimental

1. Les aliments

Un aliment complet présenté sous deux formes différentes (granulé A ou semi-expansé B) dont la composition est indiquée dans les tableaux n° I et II, est distribué à raison de 6 kg/Al/j aux chevaux et 3 kg/Al/j aux poneys en un seul repas le matin.

Les animaux n'ont reçu aucun fourrage et ne pouvaient pas consommer la paille de leur litière. Ils disposaient d'eau à volonté.

Tableau n°I

Composition chimique de l'aliment (p100 de la matière sèche)

Aliments Eléments	Granulé A	Semi-expansé B
Chrome	0,14	0,13
Matières azotées	11,5	10,6
Cellulose (Scharrer)	18,8	18,0
A.D.F.	33,13	33,67
Cellulose Vav Soest	19,41	18,84
Lignine	13,71	14,82
Amidon	42,3	36,9
Cendres	6,15	6,2
Calcium	0,78	0,78
Phosphore	0,12	0,17

Tableau n°II

Formule des aliments utilisés

	p100
Orge	18,00
Maïs	1,00
Pulpe de raisin	21,00
Caroube	24,00
Mélasse	10,00
Fourrage	24,00
Tourteau de soja	2,00
Cencentré vitaminique	0,01
Oxyde de chrome	0,2

2. Les animaux

L'expérimentation a porté sur 12 équidés : 8 chevaux et 4 poneys, systématiquement déparasités et recevant pendant 4 semaines, l'une ou l'autre présentation de l'aliment (Tableau n°III).

3. Récolte des matières fécales

L'utilisation de marqueurs a l'avantage de ne nécessiter qu'une récolte partielle des matières fécales. Celle-ci est réalisée lors de la 4ème semaine, matin et soir pendant trois jours consécutifs. Chaque échantillon est pesé, homogénéisé, et séché à l'étuve à 80°C. Ensuite ces différents échantillons sont regroupés, broyés et conservés pour l'analyse.

4. Récolte du contenu intestinal

Après 4 semaines d'adaptation à l'aliment, les animaux sont abattus. Le choix de l'heure d'abattage est particulièrement important. En effet, selon ARGENZIO et al. (1) ^{au niveau} dans l'heure qui suit le repas, après une sélection/de l'estomac, la phase liquide et les éléments fins franchissent déjà l'intestin grêle. Deux heures après le repas, on retrouve dans le cæcum la phase liquide ainsi que des éléments de taille variable.

Par ailleurs, il a été montré (WOLTER et al. (2)) que 1 h. 30 à 2 heures après le repas, on retrouve des particules colorées dans le cæcum du poney.

Compte tenu de ces considérations, l'abattage a eu lieu 3 heures après la distribution de l'aliment. La saignée et l'éviscération ont été réalisées suivant les techniques de la chaire d'Anatomie. L'estomac et le duodénum restent en place.

Nous avons recueilli le contenu de l'ensemble du tube digestif en délimitant 7 portions :

l'estomac (prélèvement n°1), le jéjuno-iléon divisé en trois parties d'égale longueur (prélèvements n°II, III et IV) et le cæcum (prélèvement n°V). Une ligature sur la courbure pelvienne du colon replié, nous a permis de vider le colon ventral (prélèvement n°VI) d'une part et le colon dorsal (prélèvement n°VII) d'autre part.

5. Traitement immédiat et stockage des échantillons.

Pour chacune des portions précitées, le contenu total est pesé puis homogénéisé à la spatule.

Deux portions aliquotes servent l'une, après dessiccation à déterminer la matière sèche, la cellulose et la lignine. La seconde, après aspersion avec de l'acide sulfurique à 2 p. 100 de manière à fixer l'azote volatil, subit aussi une déshydratation et sur le résidu sec broyé, on effectue le dosage de l'azote total.

Pour chaque animal, nous disposons de 8 échantillons : un de matières fécales (VIII) et sept du contenu du tube digestif représentant l'estomac (I), le premier (II), deuxième (III) et troisième tiers (IV) du jéjuno-iléon, le cæcum (V), le colon ventral (VI) et le colon dorsal (VII).

Tableau n° III

Particularités des animaux et aliment consommé.

Numéro	Espèce	Sexe	Poids vif (kg)	Aliment
C1	cheval	femelle	400	A
C2	cheval	mâle	480	A
C3	cheval	mâle	580	A
C4	cheval	mâle	360	A
C5	cheval	mâle	380	B
C6	cheval	mâle	430	B
C7	cheval	mâle	440	B
C8	cheval	mâle	360	B
P1	poney	mâle	109	A
P2	poney	mâle	102	A
P3	poney	mâle	105	A
P4	poney	mâle	85	A

B. Méthodes d'analyses

Les diverses méthodes d'analyse pour le dosage des marqueurs (oxyde de chrome et lignine) et des différents éléments étudiés (cellulose VAN SOEST, cellulose SCHARRER et azote) méritent d'être rappelées.

1. Dosage du chrome.

Le dosage de l'oxyde de chrome (Cr_2O_3) est obtenu de façon spécifique, rapide et précise grâce à la spectrométrie d'absorption atomique.

En soumettant un nuage d'atomes à une radiation spécifique, il absorbe de l'énergie et cette absorption est proportionnelle à la concentration de la solution vaporisée. D'autre part, un atome ne peut absorber que l'énergie qu'il est capable d'émettre, d'où la spécificité de la méthode.

Les mesures sont effectuées par l'appareil Philips-Pye UNICAM SP 1900 avec les caractéristiques suivantes :

- longueur d'onde : 357,9 nm
- courant de lampe : 12,5 mA
- fluides-air : 4,7 l/mn
- acétylène : 1,3 - 1,6 l/mn
- fente : 0,1 mm
- hauteur du brûleur : 0,5 cm
- gamme étalon : 1 à 15 ppm.

Le dosage est réalisé selon la méthode de Williams et al. (18) sur 0,2 à 0,5 g d'échantillon.

Après calcination (à 550°C) les cendres sont traitées par un mélange d'acide orthophosphorique (à 85 p.100) et de sulfate de manganèse (solution à 10 p.100) puis par une solution de bromate de potassium (solution à 4,5 p.100)

Afin d'éviter les interférences dues au magnésium, aux silicates et aux phosphates, on ajoute une solution de chlorure de calcium, de manière que la concentration finale soit de 500 ppm de calcium.

2. Dosage des matières protéiques

Nous avons appliqué la méthode classique de KJELDAHL. Après minéralisation sulfurique, l'essentiel de l'azote de l'aliment (hormis les nitrates) est converti en sulfate d'ammonium. En milieu alcalin, celui-ci libère l'ammonium qui est dosé par titrimétrie. En appliquant le coefficient 6,25 on exprime les résultats en "protéines brutes".

3. Dosage de la cellulose

Le dosage de la cellulose constitue une partie importante de notre travail. Nous avons d'une part comparé deux techniques différentes d'estimation des matières cellulose-siques : méthode de SCHARRER et méthode de VAN SOEST, et à partir de cette dernière, nous avons d'autre part estimé la lignine qui nous sert de marqueur naturel.

Avant de décrire ces deux techniques analytiques, il nous paraît important de définir la cellulose. Classiquement on distingue quatre constituants fondamentaux de la membrane végétale : les substances pectiques, les hémicelluloses, la cellulose vraie et la lignine.

La cellulose, constituant généralement le plus important de la membrane est chimiquement un polymère de chaînes non ramifiées de β -glucopyranoses liés en 1-4.

Pour le nutritionniste, la cellulose WEENDE ou "cellulose brute" correspond à l'insoluble non minéral qui subsiste après le traitement de l'aliment par une double hydrolyse, acide (H_2SO_4 à 1,25 p.100 x 100°C x 30'), puis basique (NaOH à 1,25 p.100 x 100°C x 30').

Cette définition correspond à la méthode conventionnelle et seule légale de détermination des matières cellulosiques.

Ainsi c'est la technique de dosage qui définit le produit et non l'inverse.

En fait, cette technique par sa double hydrolyse est trop brutale et selon WOLTER (20) on retrouverait en moyenne dans l'extractif non azoté, la totalité des substances pectiques, une grosse moitié des hémicelluloses, environ 40 p 100 de la lignine et près de 30 p.100 de la cutine et de la subérine.

En plus de ces imperfections, cette technique est particulièrement laborieuse, par comparaison, la méthode de SCHARRE est plus simple et plus rapide.

Plusieurs auteurs ont essayé d'apporter des améliorations à cette méthode WEENDE, ou d'appliquer des techniques nouvelles pour mieux séparer les différents constituants de la membrane végétale.

Ainsi, JARRIGE (7) propose deux hydrolyses acides successives par l'acide sulfurique 5 p 100 pendant 3 heures, puis à l'acide sulfurique 72 p 100. On dose les hémicelluloses et la cellulose vraie et le résidu représente la lignine. Plus récemment encore, l'utilisation de deux détergents de type ammonium quaternaire, préconisé par VAN SOEST (17) a aussi permis de distinguer les hémicelluloses, la cellulose vraie et la lignine.

Les deux méthodes que nous avons choisies pour doser la cellulose sont la méthode de SCHARRER pour sa simplicité et la méthode de VAN SOEST pour mettre en évidence la lignine.

a. Cellulose SCHARRER (13)

Cette méthode présente l'avantage d'une seule hydrolyse par un mélange d'acides acétique, nitrique et trichloracétique; 100 ml de ce mélange, sont ajoutés à 1 g d'échantillon, le tout est porté et maintenu à ébullition pendant 30 minutes. Le résidu est ensuite filtré sous vide, lavé à l'eau distillée bouillante, puis à l'alcool 95° et finalement à l'éther éthylique. Après séchage à l'étuve (105°C) puis refroidissement on détermine le poids P (creuset + substances non hydrolysées). Après incinération, on pèse P' (poids du creuset + cendres). Ce qui permet d'estimer la quantité de cellulose brute :

$$P - P'$$

b. Cellulose VAN SOEST (17)

Un seul des deux détergents nous intéresse ici, celui qui en milieu acide isole la lignocellulose ou ADF (Acid Detergent Fiber).

Le réactif ou ADS (Acid Detergent Solution) comporte 40 g du détergent C.T.A.B. (Céthyltriméthylammonium bromide) dissous dans deux litres d'acide sulfurique N.

A 1 g d'échantillon, on ajoute 100 ml du réactif, le tout est porté à ébullition pendant une heure.

Le résidu obtenu après filtration est séché puis pesé : P1; il correspond à la lignocellulose ou ADF augmenté d'un résidu minéral.

Le traitement à l'acide sulfurique 72 p 100 pendant trois heures, va dissocier la lignine de la cellulose.

Après filtration et séchage, l'insoluble qui correspond à la lignine et au résidu minéral est pesé (P2).

L'incinération va nous permettre - après pesée (P3) - de déterminer les matières minérales résiduelles.

Par différence entre ces trois pesées, nous déduisons les teneurs en :

- lignocellulose (ADF) : P1 - P3

- lignine : P2 - P3

- Cellulose vraie : P1 - P2

Ce sont les deux derniers éléments qui nous servent pour les comparaisons : cellulose SCHARRER - Cellulose VAN SOEST et lignine - oxyde de chrome.

C. Modalités de calcul de digestibilité

Pour chacun des éléments dosés (cellulose et protéines brutes) nous exprimons les résultats de digestibilité par rapport à l'oxyde de chrome et à la lignine. Nous calculons les digestibilités totales et "cumulées" ainsi que le "pourcentage digéré" dans chaque portion du tube digestif.

1. Digestibilité totale

Les quantités totales ingérées et excrétées nous sont inconnues, l'utilisation d'un marqueur permet d'évaluer la digestibilité totale à partir de la relation :

$$\left[1 - \frac{\text{P100 marqueur dans l'aliment}}{\text{P100 élément dans l'aliment}} \times \frac{\text{P100 élément dans fécès}}{\text{P100 marqueur dans fécès}} \right] \times 100$$

2. Digestibilité partielle ou cumulée

Nous avons appliqué la même relation que ci-dessus à chacune des portions du tube digestif. La digestibilité obtenue dans une portion donnée, rend compte de la disparition qui s'est produite en amont. C'est pourquoi nous préférons le terme de digestibilité cumulée à celui de digestibilité partielle.

3. Pourcentage digéré dans une portion du tube digestif

Par différence entre deux digestibilités cumulées, nous avons estimé le pourcentage digéré dans un compartiment du tube digestif, afin d'apprécier la digestion dans une portion. Ce pourcentage est exprimé par rapport à l'ingéré; la somme de ces valeurs le long du tube digestif est égale à la digestibilité totale.

III. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Tous les résultats sont groupés dans des tableaux et traduits sous forme de courbes ou de diagrammes. Pour chacun des éléments analysés, cellulose et azote, nous aurons à préciser l'influence de la présentation de l'aliment (granulée ou expansée) et celle de l'espèce (poney, cheval) mais surtout nous aurons à comparer les résultats des digestibilités obtenues avec chacun des marqueurs : l'oxyde de chrome et la lignine. Avant de traiter de la digestibilité de l'azote et de la cellulose il nous a semblé important de rappeler ici les résultats de la digestibilité de la matière sèche de l'aliment, étudiée par CHABOUNI (2).

A. Digestibilité de la matière sèche :

Les résultats des digestibilités totale et cumulée de la matière sèche rapportés dans le tableau n°IV suggèrent quelques remarques :

- la digestibilité totale de la matière sèche chez le cheval et le poney est environ de 48 p 100.

Cette faible valeur est vraisemblablement en rapport avec la composition de l'aliment qui comporte un taux élevé de lignine (Tableau n°I) provenant sans doute pour une large part de la pulpe de raisins.

- d'autre part, cette faible digestibilité globale pourrait expliquer certains de nos résultats, comme nous le verrons par la suite.

Tableau n°IV

Digestibilité partielle de la matière sèche ⁺ (en p 100)

Aliment Segment digestif	Poney	Cheval	
	Granulé	Granulé	Expansé
Estomac (I)	- 5,9 $\pm$ 5,15	- 10,48 $\pm$ 15,58	- 11,76 $\pm$ 7,8
1er tiers (II) Jéjuno-iléon	-31,02 $\pm$ 20,41	-163 $\pm$ 67,88	- 55,72 $\pm$ 112,9
2ème tiers (III) Jéjuno-iléon	-13,23 $\pm$ 4,29	30,14 $\pm$ 31,34	- 2,6 $\pm$ 1,89
3ème tiers (IV) Jéjuno-iléon	1,04 $\pm$ 2,17	12,1 $\pm$ 20,5	2,66 $\pm$ 6,75
Cæcum (V)	20,51 $\pm$ 2,17	21,43 $\pm$ 2,5	19,33 $\pm$ 5,35
Colon ventral (VI)	30,79 $\pm$ 8,00	36,02 $\pm$ 10,18	28,71 $\pm$ 11,25
Colon dorsal (VII)	47,90 $\pm$ 2,65	38,2 $\pm$ 13,81	37,78 $\pm$ 13,02
Fécès (VIII)	48,57 $\pm$ 0,60	48,45 $\pm$ 5,14	46,93 $\pm$ 3,14

⁺ d'après CHABOUNI A. (2)

B. Evolution de la composition de la matière sèche dans les différentes portions du tube digestif.

Le tableau n°V réunit les taux des celluloses SCHARRER et VAN SOEST, de la lignine, de l'A.D.F. et des protéines brutes en p 100 de la matière sèche chez le poney et le cheval.

A propos de l'évolution de la teneur en cellulose dans l'estomac, nous trouvons des valeurs très voisines de celles de l'aliment. Une diminution importante est ensuite observée dans le premier tiers de l'intestin grêle chez le poney (3,42 p 100) et le cheval avec l'aliment granulé (8,73 p 100) alors qu'elle reste élevée avec l'aliment expansé (26 p 100) puis une légère augmentation jusqu'au cæcum, après quoi elle diminue sensiblement au niveau du colon.

Par comparaison avec l'aliment, le taux azoté augmente fortement dans l'intestin grêle, davantage chez le cheval que chez le poney et plus avec le granulé qu'avec l'expansé.

Les valeurs de la lignine nous paraissent les plus surprenantes. Elles sont en effet très élevées tout le long du tube digestif atteignant parfois même 35 p 100 de la matière sèche (au niveau du colon). L'aliment lui-même (Tableau n°I) contient 13,71 p 100 (granulé) ou 14,82 p 100 (expansé) ce qui est beaucoup; les valeurs habituelles de lignine sont de l'ordre de 4 p 100 dans un aliment complet (WOLTER et al (23)).

Cette teneur excessive en lignine peut être en partie responsable de la faible digestibilité de la matière sèche, car plus un aliment (plus précisément la cellulose) est lignifié moins bien il est digéré. Nous reviendrons ultérieurement sur cette remarque.

En conclusion, notre aliment a une faible digestibilité de la matière sèche due vraisemblablement à sa forte teneur en lignine. Ceci aura une répercussion néfaste sur la digestibilité de chacun des éléments de la ration.

Tableau n°V Evolution de la composition de la matière sèche dans les différents compartiments et dans les fécès

	Estomac (I)	Intestin grêle 1er tiers (II)	Intestin grêle 2ème tiers (III)	Intestin grêle 3ème tiers (IV)
		P100 de la matière sèche		
		Protéines brutes +		
Poney (granulé A)	15,05	11,62	12,13	11,67
Cheval (granulé A)	18,48	39,75	17,12	15,76
Cheval (expansé B)	10,28	15,86 Cellulose Scharrer + 3,42	13,81	16,11
Poney (granulé A)	18,38		23,73	23,86
Cheval (granulé A)	19,23	8,73	20,13	24,37
Cheval (expansé B)	17,45	Lignine 26,08 (Van Soest)	+20,05	23,75
Poney (granulé A)	23,59	32,56	28,31	25,79
cheval (granulé A)	22,28	4,05	16,12	19,58
cheval (expansé B)	19,38	9,41	20,49	21,53
Poney (granulé A)	46,23	Acid detergent fiber (ADF) + 36,19	43,09	49,90
Cheval (granulé A)	43,31	9,36	39,80	53,42
Cheval (expansé B)	38,88	20,82 Cellulose Van Soest + 36,3	44,83	47,19
Poney (granulé A)	22,64	5,31	14,78	24,11
Cheval (granulé A)	21,03	11,41	23,68	33,84
Cheval (expansé B)	19,5		24,34	25,66

+ valeurs moyennes sur 4 animaux pour chaque type d'aliment

	Cæcum (V)	Colon ventral (VI)	Colon dorsal (VII)	Fécès (VIII)
Poney (granulé A)	13,73	Protéines brutes +		
Cheval (granulé A)	15,26	16,26	16,35	15,82
Cheval (expansé B)	15,49	15,17	18,08	14,46
		16,34	16,67	16,33
Poney (granulé A)	24,35	Cellulose Scharrex +		
Cheval (granulé A)	27,29	23,95	21,71	22,44
Cheval (expansé B)	25,26	26,77	25,47	24,12
		24,95	31,14	22,92
Poney (granulé A)	29,75	Lignine (Van Soest) +		
Cheval (granulé A)	26,97	34,06	37,94	36,38
Cheval (expansé B)	29,39	31,33	34,45	35,78
		32,78	34,34	34,49
Poney (granulé A)	57,70	Acid detergent fiber (ADF) +		
Cheval (granulé A)	54,97	58,68	58,94	57,97
Cheval (expansé B)	59,01	58,47	60,44	59,27
		59,73	59,83	59,60
Poney (granulé A)	27,95	Cellulose Van Soest +		
Cheval (granulé A)	28,00	24,62	21,00	21,59
Cheval (expansé B)	29,62	27,14	25,89	23,49
		26,95	24,49	25,11

+ Valeurs moyennes sur 4 animaux pour chaque type d'aliment

C. Digestibilité de la cellulose

Nous envisageons successivement la digestibilité totale, la digestibilité cumulée et le pourcentage digéré dans chaque portion.

1. Digestibilité totale de la cellulose

Le tableau n°VI regroupe les résultats de digestibilité totale des celluloses SCHARRER et de VAN SOEST chez le cheval et chez le poney.

Tableau n°VI

Digestibilité totale des celluloses de SCHARRER et VAN SOEST

Aliment marqueur	Poney * granulé	Cheval * granulé	Cheval * expansé
Cellulose Scharrer	39,42 [±] 8,37	33,97 [±] 6,72	15,94 [±] 22,27
<u>Oxyde de chrome</u>	(a)	(a)	
Cellulose Van Soest	42,91 [±] 6,62	36,75 [±] 9,21	11,99 [±] 21,33
Cellulose Scharrer	55,05 [±] 4,3	52,46 [±] 1,53	46,63 [±] 21,33
<u>lignine</u>	(b)	(b)	
Cellulose Van Soest	58,44 [±] 5,76	52,78 [±] 5,82	41,56 [±] 5,93

* Résultats obtenus sur 4 animaux

- Les résultats affectés de lettres différentes diffèrent significativement ($P < 0,05$).

L'étude statistique comparative de ces résultats ne fait pas apparaître de différence significative de la digestibilité entre les deux espèces, pas plus que entre les méthodes (expérience avec le même marqueur).

Quant au mode de présentation de l'aliment, bien qu'il n'existe pas de différence significative ($P > 0,05$), il semblerait que l'expansion diminue la digestibilité de la cellulose.

Par contre l'analyse statistique appliquée à l'utilisation du marqueur montre qu'avec la lignine la digestibilité totale de la cellulose de l'aliment granulé (cheval et poney) apparaît significativement plus élevée ($P < 0,05$) qu'avec l'oxyde de chrome. Il en est de même pour l'aliment expansé (cheval) la différence étant toutefois moins significative ($P > 0,05$).

WOLTER et al.(23) trouvent des résultats comparables chez des poneys fistulés avec ces mêmes marqueurs (digestibilité plus élevée avec la lignine qu'avec l'oxyde de chrome). Par ailleurs, ils signalent une bonne corrélation entre la méthode de récolte totale et celle de référence à la lignine.

L'évaluation de la digestibilité totale de la cellulose par marquage à l'oxyde de chrome, entraîne donc une sous-estimation des résultats. La lignine rendrait mieux compte de cette digestibilité. Nous retenons que la digestibilité totale de la cellulose est environ de 50 p 100 chez les équidés.

Tableau n°VII

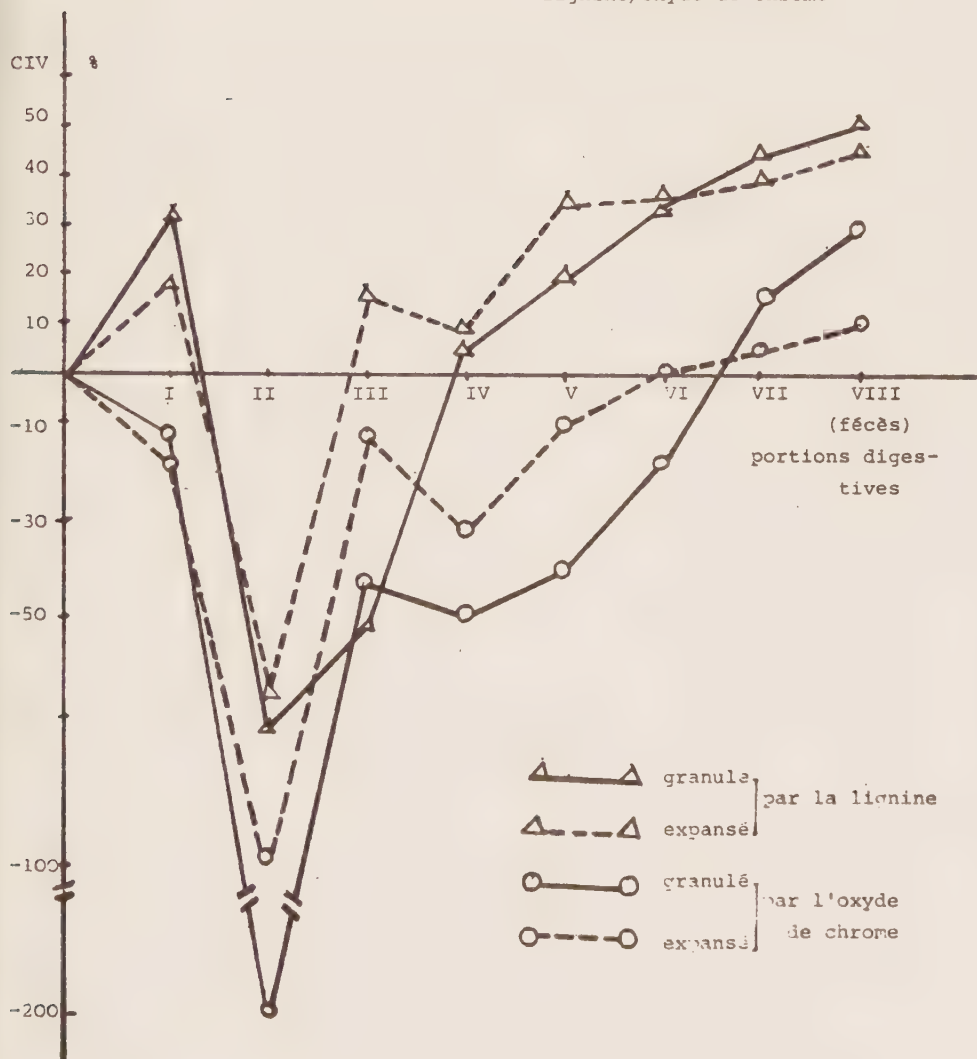
Digestibilité cumulée de la cellulose SCHARRER par l'oxyde de chrome et par la lignine chez le cheval

marqueur portion digestive	aliment granulé		aliment expansé	
	oxyde de chrome	lignine	oxyde de chrome	lignine
Estomac (I)	-12,3 [±] 13,75 [*] (a)	32,72 [±] 18,62 (b)	-17,38 [±] 21,44	17,98 [±] 24,09
1/3intestin grêle (II)	-214,5 [±] 347,4	-72,8	-103,83 [±] 145,39	-67,09 [±] 171,76
2/3intestin grêle (III)	- 40,62 [±] 48,96	-51,96 [±] 152,4	-13,6 [±] 46,8	15,52 [±] 40,28
3/3intestin grêle (IV)	- 48,56 [±] 52,78	5,25 [±] 27,68	-32,93 [±] 17,99	8,62 [±] 11,59
cæcum (V)	- 40,71 [±] 68,31	21,24 [±] 28,37	-10,5	35,84
colon ventral (VI)	- 16,23 [±] 57,04	35,47 [±] 17,77	0,4 [±] 21,4	36,97 [±] 8,84
colon dorsal (VII)	18,36 [±] 23,24	45,45 [±] 8,9	5,7 [±] 47,7	40,71 [±] 11,09
fécès (VIII)	33,97 [±] 6,72 (c)	52,46 [±] 1,53 (d)	15,94 [±] 22,27	46,63 [±] 9,15

* Les résultats affectés de lettres différentes diffèrent significativement ($P < 0,05$)

Schéma n° I
Digestibilité de la cellulose SCHARRER

Comparaison : granulé/expansé
 lignine/oxyde de chrome



2. Digestibilité cumulée de la cellulose

Les tableaux n° VII, VIII et IX, ainsi que les schémas I, II et III, résument les résultats concernant les digestibilités cumulées chez les deux espèces selon la méthode utilisée.

Il en ressort une bonne corrélation entre les méthodes de SCHARRER et de VAN SOEST. Ceci confirme ce que nous avons trouvé à propos de la digestibilité totale (tableau VI).

Au sujet de l'influence du mode de présentation, il semble que la forme expansée ait une meilleure digestibilité cumulée que la forme granulée jusqu'au colon ventral; ceci s'inverse à partir du colon dorsal. Ces différences ne sont toutefois pas significatives.

Plus importantes sont les différences observées entre les résultats obtenus avec les marqueurs.

- Avec l'oxyde de chrome, la digestibilité cumulée est négative au niveau de l'estomac, plus encore dans l'intestin grêle et ne devient nulle qu'au niveau du cæcum (poney) ou du colon ventral (cheval). Les résultats avec la lignine paraissent plus fiables à partir du dernier tiers de l'intestin grêle. A ce niveau, la digestibilité cumulée est faible (7 p 100) puis elle évolue de façon cohérente.

Avec l'oxyde de chrome, les résultats négatifs traduisent une augmentation du taux de cellulose par rapport au chrome. Si nous admettons l'impossibilité d'une production de cellulose endogène, et la non absorption du chrome, nous ne pouvons que nous référer à l'hypothèse émise par GOUY (5) : l'oxyde de chrome au niveau de l'intestin grêle se dissocie de la phase solide et va être entraîné plus rapidement par la phase liquide, d'où l'excès des éléments de la phase solide par rapport au chrome. Donc, au niveau de l'intestin grêle, l'oxyde de chrome serait un mauvais marqueur pour la phase solide.

Tableau n° VIII

Digestibilité cumulée de la cellulose VAN SOEST par l'oxyde de chrome et la lignine chez le cheval.

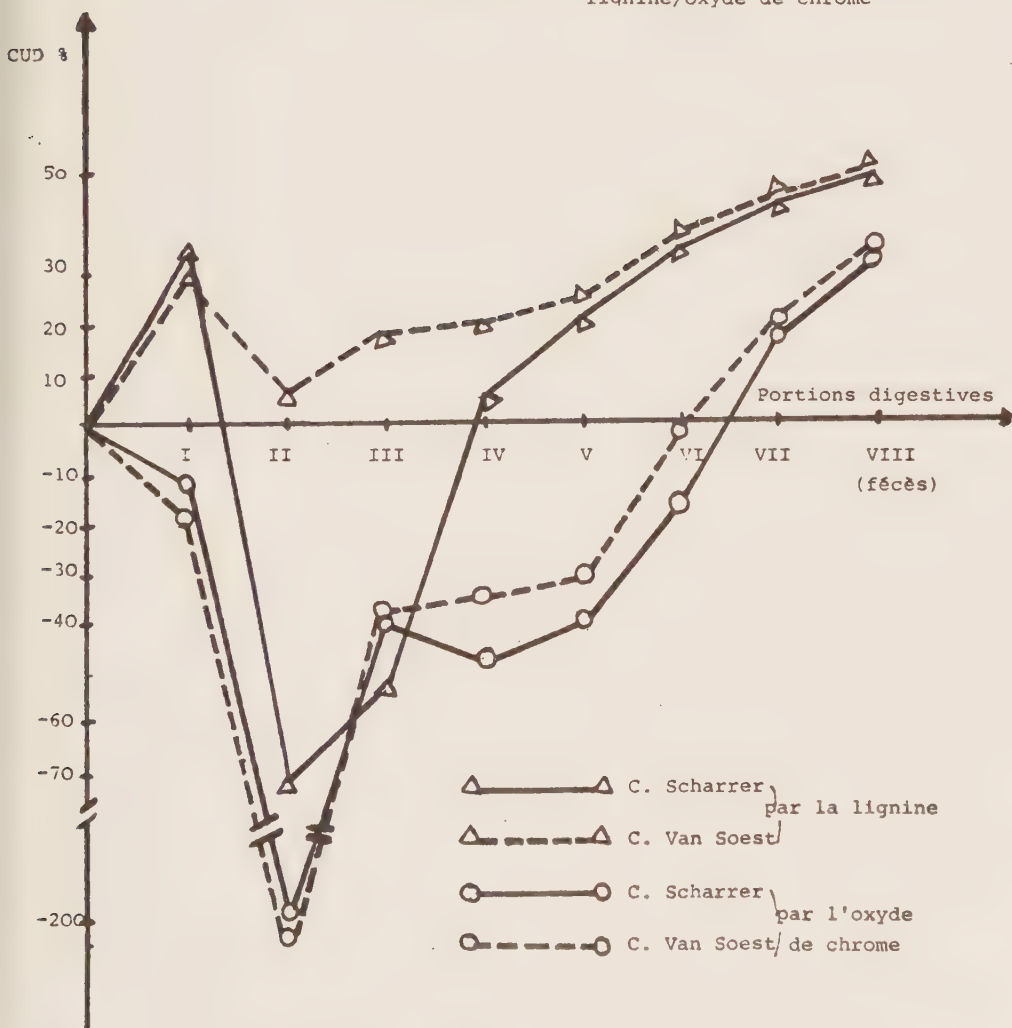
marqueur portion digestive	Aliment granulé		Aliment expansé	
	oxyde de chrome	lignine	oxyde de chrome	lignine
Estomac	$-19,33 \pm 19,29$ (a)	$30,84 \pm 10,38$ (b)	$-9,55 \pm 17,6$	$21,43 \pm 6,8$
1/3intestin grêle	-282,99	7,44	$-33,79 \pm 11,12$	$23,9 \pm 19,15$
2/3intestin grêle	$-38,13 \pm 43,26$	$19,95 \pm 12,88$	$-32,23 \pm 11,65$	$2,90 \pm 22,32$
3/3intestin grêle	$-35,66 \pm 50,00$	$21,65 \pm 15,37$	$-41,4 \pm 13,72$	$3,42 \pm 18,61$
Cæcum	$-31,62 \pm 62,29$	$26,84 \pm 24,517$	$-24,39 \pm 15,7$	$21,89 \pm 14,2$
Colon	$-3,39 \pm 56,8$	$39,36 \pm 14,02$	$-6,61 \pm 23,25$	$32,41 \pm 9,53$
Colon dorsal	$21,53 \pm 18,68$	$56,45 \pm 47,59$	$9,59 \pm 26,63$	$33,24 \pm 10,41$
Fèces	$36,75 \pm 9,21$	$52,78 \pm 5,82$	$11,99 \pm 21,33$	$41,56 \pm 5,93$

+ les résultats affectés de deux lettres différentes
diffèrent significativement ($P < 0,05$)

Schéma n° II

Digestibilité de la cellulose chez le cheval

Comparaison : celluloses Scharrer/Van Soest
lignine/oxyde de chrome



- Avec la lignine : au niveau de l'estomac la digestibilité apparaît très élevée, indiquant un excès de ce marqueur par rapport à la cellulose. Celle-ci aurait-elle une vitesse de transit supérieure à celle de la lignine ? Nous ne pouvons pas vérifier cette hypothèse, d'autant plus qu'il faudrait admettre une dissociation de la "ligno-cellulose" (par l'acide du suc gastrique par exemple ou par la flore), séparant ainsi la lignine et la cellulose.

L'excès de lignine pourrait aussi être dû à une production de lignine endogène par la flore. Bien que cette hypothèse semble peu vraisemblable, elle expliquerait les résultats de digestibilité totale négative de la lignine, rapportés par COLOMBANI et al. (3) dans une étude de digestibilité de fourrages chez le poney.

Par ailleurs, une attaque fermentaire de la cellulose dans l'estomac n'est pas à exclure, bien qu'elle soit très limitée, étant donné le court séjour de l'aliment dans cette portion.

Toutefois, ces hypothèses ne pourraient rendre compte suffisamment de la très forte digestibilité au niveau de l'intestin grêle chez le poney (90 p 100 !) et encore moins de la digestibilité négative dans cette même portion chez le cheval (car là, le problème s'inverse et on est en présence d'un excès de cellulose par rapport à la lignine !).

Dans l'estomac, et dans l'intestin grêle, les résultats ne nous semblent pas interprétables; sans doute faut-il supposer que des interférences, peut-être liées aux variations des teneurs minérales, ont introduit des erreurs systématiques et difficilement contrôlables dans les dosages de la lignine selon la méthode de VAN SOEST.

De plus, le transit très rapide, dans les premières portions du tube digestif, l'état de semi-vacuité de l'intestin grêle, entraînent de grandes variations individuelles.

Les résultats gardent malgré tout un certain intérêt dans le cadre de l'étude cinétique de la digestibilité tout au long du tube digestif, alors que les valeurs absolues étaient déjà altérées par la forte teneur en lignine.

Nous allons nous référer aux résultats obtenus avec la lignine, ceux avec l'oxyde de chrome étant encore moins fiables.

La digestion de la cellulose semble commencer au niveau du cæcum. Dans cette portion, la digestibilité cumulée est de 21 p 100 (granulé) ou de 36 p 100 (expansé) chez le cheval et de 39 p 100 chez le poney.

WOLTER et al. (23) chez des poneys munis d'une canule au niveau du cæcum trouvent des résultats concordants avec une digestibilité cæcale de 37,2 p 100 pour la cellulose d'un aliment complet granulé.

La digestibilité cumulée atteint 40 p 100 dans le colon ventral et 50 p 100 dans le colon dorsal.

Quant à l'influence de l'espèce, quoique les différences ne soient pas significatives, le poney aurait au niveau du cæcum une digestibilité cumulée supérieure à celle du cheval. Les différences sont moins importantes au niveau du colon ventral et du colon dorsal.

En conclusion, nous n'avons pas trouvé de grande différence entre l'aliment granulé et l'aliment expansé, ni entre cheval et poney. Les méthodes d'analyses de la cellulose (SCHARRER et VAN SOEST) conduisent également à des résultats comparables.

Par contre, bien que certains résultats de digestibilités cumulées semblent erronés, la comparaison des deux marqueurs montre que les différences sont significatives et que les résultats sont plus satisfaisants avec la lignine.

L'étude de pourcentage de cellulose dégradée dans les différentes portions du tube digestif va nous donner de plus amples renseignements sur les sites de digestion de la cellulose.

Tableau n° IX

Digestibilité cumulée de la cellulose SCHARRER et de la cellulose VAN SOEST pour l'oxyde de chrome et par la lignine chez le poney.

marqueur portion digestive	Cellulose de Scharrer		Cellulose de Van Soest	
	Oxyde de chrome	lignine	oxyde de chrome	lignine
Estomac	-3,56 $\pm$ 9,07 [*] (a)	43,70 $\pm$ 5,82 (b)	-0,71 $\pm$ 27,96	35,12 $\pm$ 7,84
1/3 intestin grêle	-79,7	94,35	-77,7 $\pm$ 17,59	93,18 $\pm$ 3,37
2/3intestin grêle	-41,31 $\pm$ 89,16	54,33 $\pm$ 30,03	-24,51 $\pm$ 39,46 (a)	65,125 $\pm$ 19,36 (b)
3/3intestin grêle	$\pm$ 25,80 $\pm$ 12,56	26,71 $\pm$ 27,84	-20,28 $\pm$ 19,53 (c)	31,53 $\pm$ 15,99 (d)
Cæcum	-2,88 $\pm$ 13,06 (c)	39,22 $\pm$ 10,63 (d)	- 6,83 $\pm$ 12,36 (e)	37,78 $\pm$ 6,24 (f)
Colon ventral	10,35 $\pm$ 7,22 (e)	50,76 $\pm$ 6,38 (f)	11,04 $\pm$ 9,76 (g)	51,38 $\pm$ 5,77 (h)
Colon dorsal	40,07 $\pm$ 7,13	54,39 $\pm$ 5,19	40,12 $\pm$ 6,27 (i)	58,36 $\pm$ 6,68 (j)
Fécès	39,42 $\pm$ 8,37	55,05 $\pm$ 4,3	42,91 $\pm$ 6,62	58,44 $\pm$ 5,76

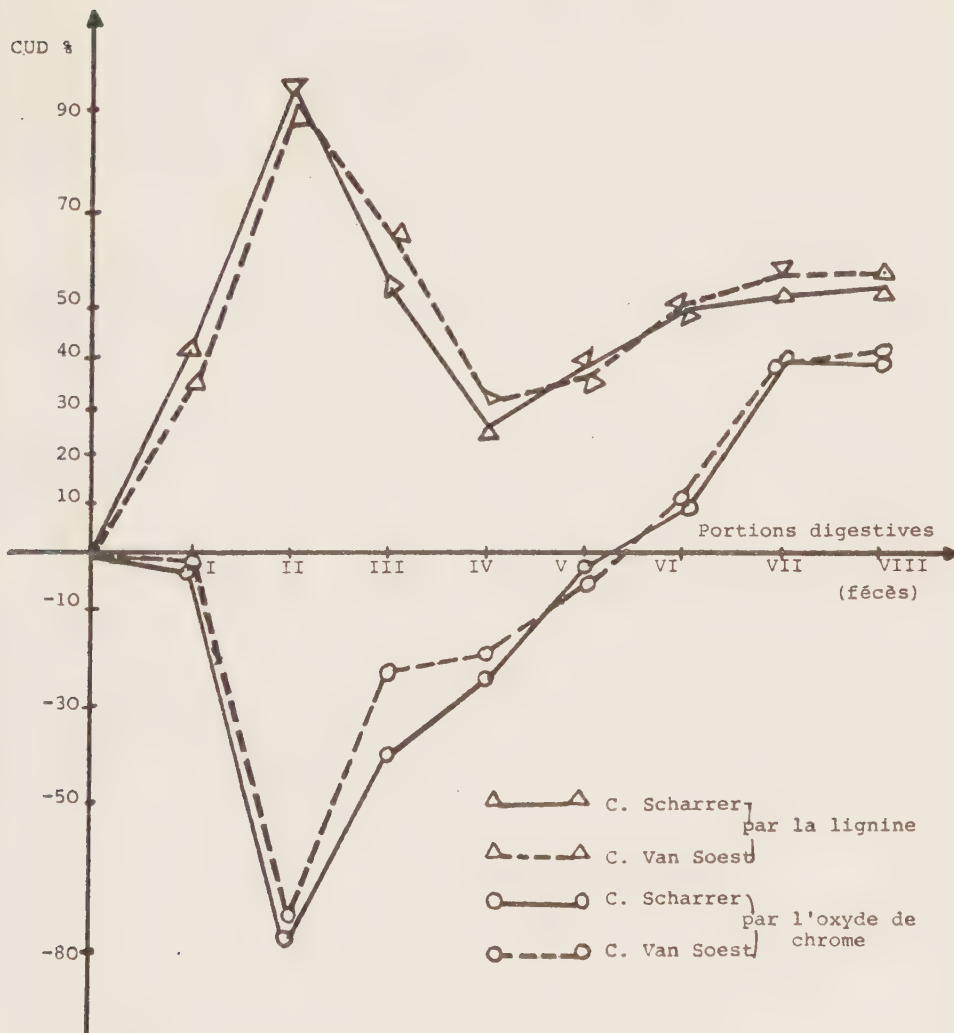
* Les résultats affectés de deux lettres différentes diffèrent significativement ($P < 0,05$)

Schéma n° III

Digestibilité de la cellulose chez le poney

Comparaison : celluloses : SCHARRER/VAN SOEST

Lignine/oxyde de chrome



3. Pourcentages de cellulose dégradée

Ces pourcentages sont rapportés dans le tableau n°X et schématisés par le diagramme I. Là aussi, pour les raisons indiquées antérieurement, nous faisons abstraction des résultats au niveau de l'estomac et de l'intestin grêle.

Il se confirme que la cellulose est surtout dégradée au niveau du cæcum (18,6 p 100) et du colon ventral (9 p 100) alors qu'elle l'est plus faiblement dans le colon dorsal (7 p 100).

La valeur de 18,6 p 100 au niveau du cæcum semble un peu élevée; elle traduit néanmoins l'importance de la digestion cæcale chez les équidés.

En définitive, il ressort de ces résultats que la digestibilité totale de la cellulose chez les équidés est d'environ 50 p 100. Cette digestibilité est nulle sinon très faible jusqu'au niveau de l'intestin grêle (7 p 100) et se déroule essentiellement dans le gros intestin. La cellulolyse est surtout importante au niveau du cæcum (18,6 p 100) et du colon ventral (9 p 100).

Tableau n°X

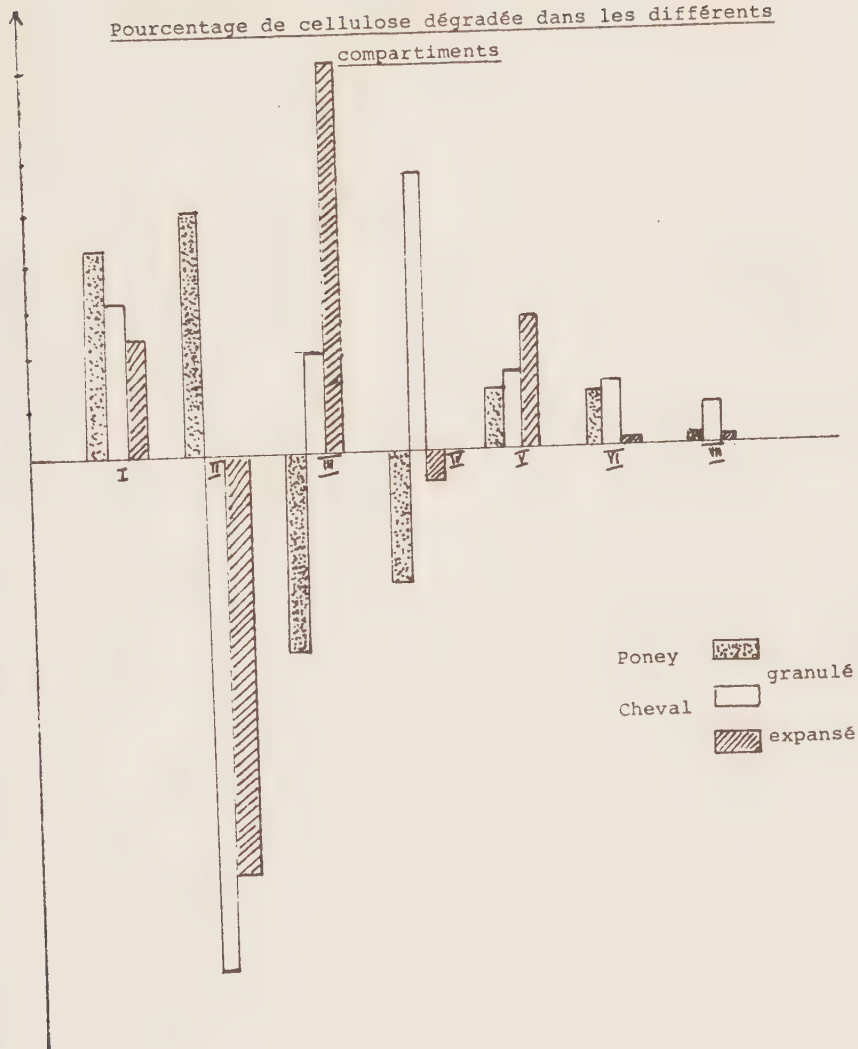
Pourcentage de cellulose dégradée dans les différents compartiments du tube digestif.

Aliment Portion digestive	Poney	Cheval		moyenne ⁺
	granulé	granulé	expansé	
Estomac	43,7	32,72	24,09	(33,5)
1er tiers intestin grêle	50,6	-105,5	- 85	(- 16,6)
2ème tiers intestin grêle	- 40,02	20,84	82,61	(21,11)
3ème tiers intestin grêle	- 27,6	57,2	- 6,82	(7,6)
Cæcum	12,5	16	27,2	18,6
Colon ventral	11,55	14,24	1,14	9
Colon dorsal	3,63	9,98	3,74	5,78

⁺ Les chiffres entre parenthèses ne sont pas tenus en compte

Diagramme I

Pourcentage de cellulose dégradée dans les différents
compartiments



D. Digestibilité des matières azotées.

Nous traitons, tout comme pour la cellulose, des digestibilités totale et cumulée des matières azotées.

1. Digestibilité totale

Les valeurs trouvées (tableaux XI et XII) ne révèlent pas de différences significatives en fonction de l'espèce ni du mode de présentation de l'aliment, mais opposent les deux marqueurs.

En effet la digestibilité totale de l'azote calculée en se référant à l'oxyde de chrome (30 p 100) est inférieure à celle déterminée au moyen de la lignine (45 p 100).

Néanmoins, ces valeurs restent faibles : quand on sait que la digestibilité totale de l'azote est estimée à 75 p 100 HINTZ (6), WOLTER et al. (23), GOUY (5). Cette faible digestibilité peut être la conséquence de la composition de l'aliment; celui-ci, en effet contient 21 p 100 de pulpes de raisin et 24 p 100 de Caroube, composés pauvres en protéines, par ailleurs peu digestibles : respectivement 10 et 28,5 p 100 comme cela a été démontré par WOLTER et al (22). Ceci est sans doute lié à la présence de tanins, mais aussi au taux élevé de lignine.

Nous retenons donc que l'aliment a une très faible digestibilité totale des matières azotées (40 p 100) due vraisemblablement à sa très forte teneur (45 p 100) en pulpes de raisins et en caroube.

Tableau n° XI

Digestibilité des matières azotées par l'oxyde de chrome

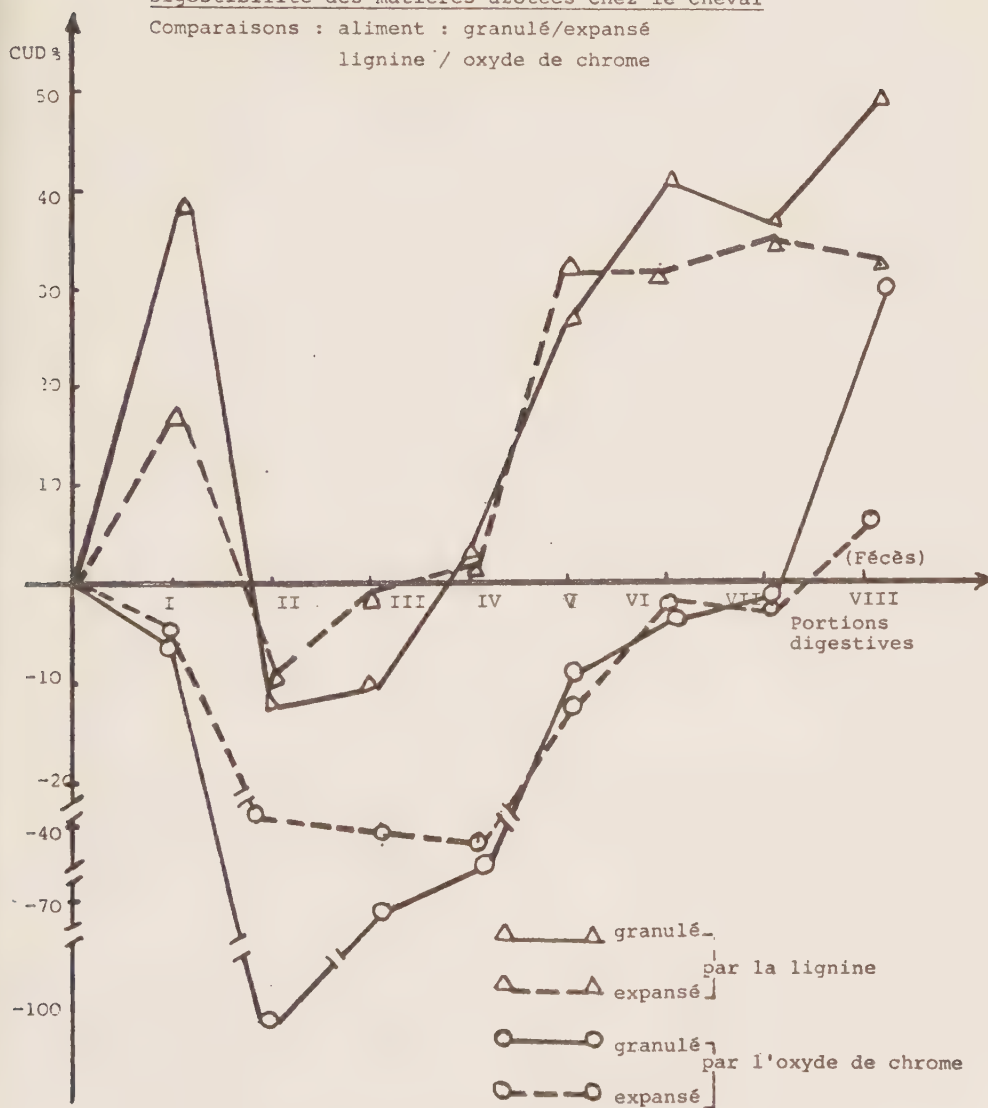
Aliment Portion digestive	Poney	Cheval	
	Granulé	Granulé	Expansé
Estomac	- 39,38 $\pm$ 15,72	- 6,85 $\pm$ 13,15	- 5,06
1/3 intestin grêle	- 31,62 $\pm$ 21,04	-425,5 $\pm$ 64,34	- 42
2/3 intestin grêle	- 18,82 $\pm$ 31,2	- 70,12 $\pm$ 59,37	- 44,15 $\pm$ 11,29
3/3 intestin grêle	- 0,66 $\pm$ 9,67	- 57,45 $\pm$ 62,38	- 47,02 $\pm$ 37,7
Cæcum	8,35 $\pm$ 15,86	- 9,66 $\pm$ 47,87	- 13,69 $\pm$ 3,71
Colon ventral	20,1 $\pm$ 14,63	- 3,94 $\pm$ 39,12	- 2,99 $\pm$ 5,09
Colon dorsal	25,71 $\pm$ 4,46	- 3,31 $\pm$ 67,84	- 3,64 $\pm$ 25,37
Fécès	27,34 $\pm$ 3,73	30,68 $\pm$ 14,7	4,3 $\pm$ 14

Schéma n°IV

Digestibilité des matières azotées chez le cheval

Comparaisons : aliment : granulé/expansé

lignine / oxyde de chrome



2. Digestibilité cumulée

C'est au niveau de l'intestin grêle que se réalise l'essentiel de la digestion des matières azotées sous l'action des sucs digestifs et des enzymes intestinales. Etant donné les taux fluctuants des marqueurs dans les sites antérieurs (estomac et intestin grêle), les résultats dans ces portions sont peu fiables.

- Avec l'oxyde de chrome les valeurs sont fortement critiquables dans la mesure où elles restent négatives même au niveau du colon dorsal. Les animaux auraient jusque là secrété des substances azotées plus qu'ils ^{en}ont résorbées, ce qui paraît impossible, notamment compte tenu de leurs besoins en acides aminés indispensables.

Si l'excès d'azote par rapport au marqueur est concevable au niveau de l'intestin grêle, consécutivement aux apports endogènes, il l'est moins au niveau du cæcum et du colon. L'oxyde de chrome aurait transité plus rapidement que l'azote tout le long du tube digestif !

- Avec la lignine : les résultats de digestibilité sont plus cohérents, mais l'excès de ce marqueur dans les portions antérieures étant difficilement expliqué, nous resterons très prudent pour l'interprétation.

Malgré tout, ces résultats (Tableaux XI et XII) montrent des valeurs négatives dans l'estomac et l'intestin grêle, mettant ainsi en évidence l'apport d'azote endogène (secrétions digestives).

Au niveau du cæcum, la digestibilité est de l'ordre de 30 p 100 chez le cheval et de 40 p 100 chez le poney.

Tableau n° XII
 Digestibilité des matières azotées par la lignine

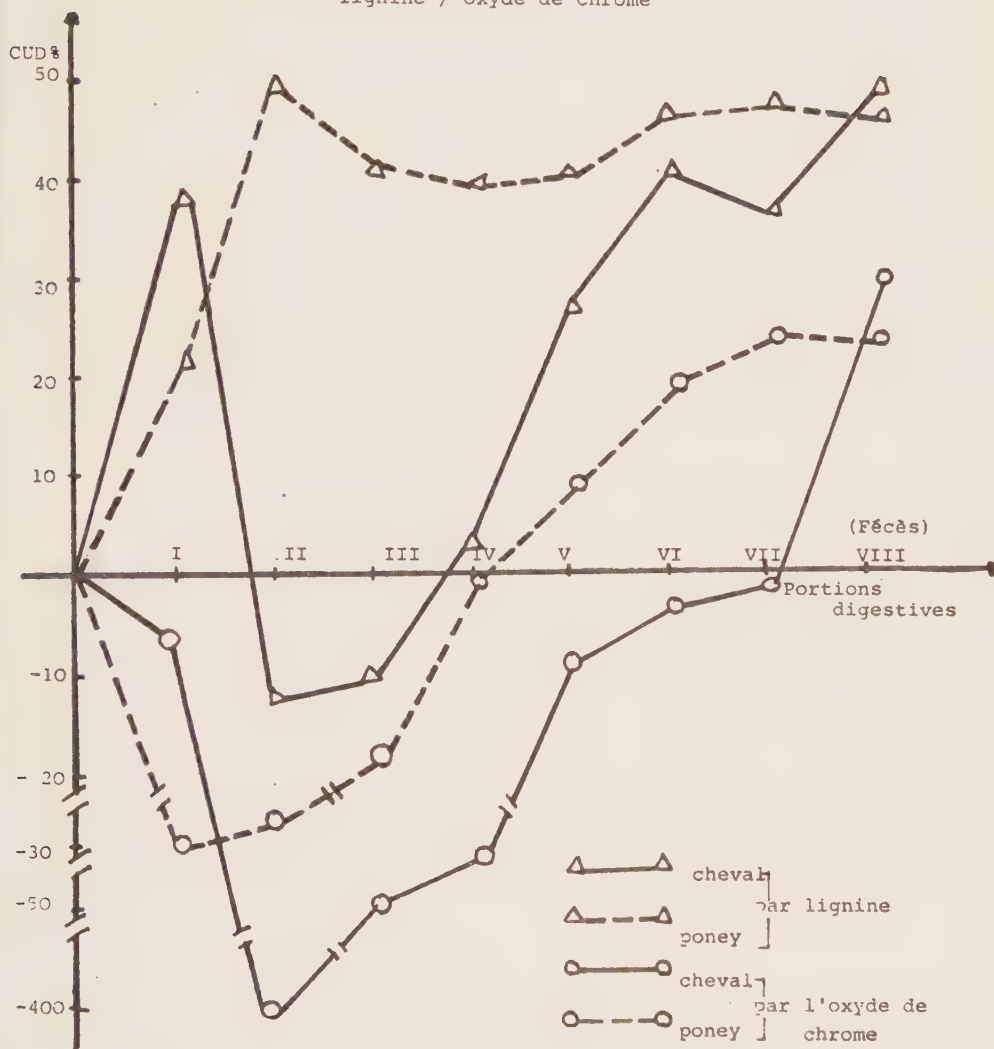
Aliment Portion digestive	Poney	Cheval	
	Granulé	Granulé	Expansé
Estomac	22,65 $\pm$ 17,86	39,57 $\pm$ 21,9	15,95
1/3 intestin grêle	49,11 $\pm$ 18,39	- 12,8	- 10,25
2/3 intestin grêle	43,16 $\pm$ 28,68	- 10,94 $\pm$ 51,46	- 1,88 $\pm$ 29,5
3/3 intestin grêle	40,64 $\pm$ 24,16	2,32 $\pm$ 32,55	1,19 $\pm$ 14,73
Cæcum	43,49 $\pm$ 14,08	29,97 $\pm$ 16,63	33,16 $\pm$ 0,97
Colon ventral	47,17 $\pm$ 8,66	41,57 $\pm$ 6,85	32,95 $\pm$ 1,61
Colon dorsal	47,6 $\pm$ 8,85	35,25 $\pm$ 30,85	34,22 $\pm$ 3,77
Fécès	46,67 $\pm$ 3,95	51,66 $\pm$ 3,31	32,4 $\pm$ 0,39

Schéma n° V

Digestibilité des matières azotées

Comparaison : cheval / poney

lignine / oxyde de chrome



La résorption de l'azote se poursuit au niveau du colon, mais de façon plus modérée que dans les portions antérieures pour parvenir à une digestibilité dans le colon dorsal de 40 p 100 chez le cheval et de 48 p 100 chez le poney (Schémas IV et V).

Ces valeurs de digestibilités cumulées (obtenues grâce à la lignine) sont inférieures à celles trouvées par d'autres auteurs.

Ainsi les travaux de HINTZ (6) et de WOLTER (23) sur des poneys, donnent une digestibilité intracæcale de l'ordre de 53 p 100 et de 70 p 100 au niveau du colon dorsal.

L'explication de ces faibles digestibilités réside apparemment, comme nous en avons déjà discuté, dans la composition et la nature de l'aliment expérimenté.

La digestion des matières azotées, contrairement à celle de la cellulose, s'effectue principalement en région précæcale. Elle est donc essentiellement enzymatique. la protéolyse se poursuit dans le gros intestin grâce à l'action fermentaire de la flore. Cependant l'utilisation des protéines bactériennes par le cheval serait très limitée et ceci pour deux raisons. D'une part ces protéines se situent dans le gros intestin, donc en arrière des zones d'intense résorption, et d'autre part cette résorption se réaliserait sous forme d'ammoniac et serait donc d'un faible profit pour le cheval.

C O N C L U S I O N

La distribution sous deux présentations d'un même aliment complet dosant 18 p 100 de cellulose brute et 11 p 100 de matières azotées totales, à des équidés (chevaux et poneys) nous a permis d'étudier les digestibilités totales et "cumulées" de la cellulose et des protéines brutes par analyse des digesta après abattage des animaux.

Le taux particulièrement élevé de lignine (13 à 14 p 100) par suite de l'incorporation de pulpes de raisins dans l'aliment, a pour conséquence une baisse de la digestibilité globale.

Cependant, il ressort de cette étude que :

- la cellulose est assez bien digérée, de l'ordre de 50 p 100 au total, grâce à une dégradation microbienne qui apparaît plus intense au niveau du cæcum (18,5 p 100) et du colon ventral (9 p 100) que dans le colon dorsal (7 p 100).

- Les matières azotées donnent lieu à une digestibilité relativement mauvaise, voisine de 40 p 100, sans doute en raison de la richesse de la ration en tanins, apportés en plus de la lignine par les pulpes de raisins. La résorption intervient pour les 3/4 dans l'intestin grêle, confirmant la primauté de la digestion enzymatique.

Cette expérimentation montre également que :

- le cheval et le poney ont à peu près les mêmes facultés digestives, bien que l'activité cæcale semble un peu supérieure chez le poney.

- La granulation de l'aliment est au moins aussi favorable à la digestibilité que l'expansion.

- Les résultats concernant la cellulose (teneurs des aliments et digestibilité) sont comparables que l'on utilise la méthode de dosage de Scharrer ou celle de Van Soest. Toutefois, cette dernière est préférable dans ce type d'essai puisqu'elle permet la détermination des teneurs en lignine, utilisée comme marqueur interne.

Les résultats des mesures de digestibilité au moyen de marqueurs sont quelque peu plus cohérents avec la lignine qu'avec l'oxyde de chrome. Malgré tout, ils restent difficilement interprétables au niveau de l'estomac et de l'intestin grêle. La cause pourrait en être déjà recherchée dans l'excès de lignine de l'aliment, une mauvaise répartition de l'oxyde de chrome et/ou une vitesse différente de transit de ce dernier. A cet égard, les essais mériteraient d'être renouvelés avec des aliments plus digestibles comportant du papier imprégné à l'oxyde de chrome ou d'autres marqueurs plus fiables.

Vu :

LE DIRECTEUR

de l'École Nationale Vétérinaire de Lyon,

[Signature]

LE PROFESSEUR RESPONSABLE

de l'École Nationale Vétérinaire,

[Signature]

Vu :

LE DOYEN,

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,

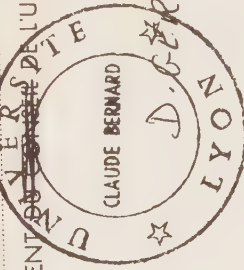
[Signature]

Vu et permis d'imprimer

28 MAI 1980

LYON, le

LE ~~RECTEUR~~ ¹⁹ ~~PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ~~ LYON I



B I B L I O G R A P H I E

1. ARGENZIO (R.A.), LOWE (J.E.), PICKARD (D.W.) and STEVENS (C.E.)
Digesta passage and water exchange in the equine large intestine.
Am. J. Physiol. 1974, 226 (5), 1035-1042.
2. CHABOUNI (A)
Nouvelle étude de la digestion de l'amidon chez les équidés par analyse du contenu du tube digestif après abattage.
Thèse Doctorat Vétérinaire Lyon 1977.
3. COLOMBANI (B), PITTI (A), VERITA (P)
Digestibilita di alcuni forraggi. Nei ponies.
Secundo il metodo Van Soest.
Annali della Facolta di Medicina Veterina di Pisa 1973, (26), 50-57.
4. FRANCOIS (E), THILL (N) THEWIS (A)
Méthode rapide de dosage de l'oxyde de chrome dans les aliments, les fécès et les contenus digestifs par titrage après oxydation nitroperchlorique.
Ann. Zootech. 1978 (27), 355-361.
5. GOUY (D)
Une étude de la digestibilité chez les équidés par analyse du contenu intestinal après abattage.
Thèse Doctorat Vétérinaire Lyon 1977.

6. HINTZ (H.F.), HOGNE (D.E.), WALKER (E.F.), LOWE (Irand I.E.) and SCHRYVER (H.F.)
Apparent digestion in various segments of the digestive tract of ponies fed diets with varying roughage-grain ratios.
J. Anim. Sci. 1971, 32 (2), 245-251.
7. JARRIGE (R)
Analyse des constituants glucidiques des plantes fourragères.
Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys. 1961, I (2) 163-212.
8. LAPLACE (J.P.)
Le transit digestif chez les monogastriques
Ann. Zootech. 1972, 21 (I) 83-105.
9. NOUWAKPO
Une étude expérimentale de la digestion chez le lapin. Comparaison avec le poney.
Thèse Doctorat d'ingénieur. Dijon 1979.
10. OTT (A) and FEASTER (J.P.)
Polyethylene and lignin as indicators in equine digestion studies.
J. Anim. Sci., 1975, 41 (1) 324.
11. PONCET C.
Utilisation du cérium 141 comme marqueur de la phase solide des contenus digestifs chez les ruminants.
I. Conditions de fixation sur les aliments et comportement dans le contenu de rumen in vivo.
Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys. 1976 (16) 731-739.

II. Comportement du marqueur au niveau du duodénum et au niveau des fécès.

Ann. Biol. Anim. Bioch. Piophys. 1976 (16) 741-751.

12. ROLLANDE (D) et TISSERAND (J.C.)

Valeur alimentaire d'un marc de raisin déshydraté.

Ann. Zootech. 1978, 27 (4) 631-637.

13. SCHARRER (K) et KURSCHNER (K)

Ein neues, rasch durchführbares Verfahren Z. Bestimmung d. Rohfaser in Futtermitteln.

Tierernährung. 3, 1932, 302.

14. THILL, FRANCOIS (E), HERWIS (A.T.), THIELEMANS (M.F.)

Transit comparé de l'oxyde de chrome et de cérium

Ann. Zootechnie 1978, 27, 363-376

15. THCNNEY (M.L.), DUHAINNE (D.J.), POE (P.U.) and REID (I.T.)

Acid insoluble ash and permanganate lignin as indicators to determine digestibility of cattle rations.

Journal of Animal Science 1979, 49 (4), 1112-1116.

16. VAN KEULEN (J) and YOUNG (B.A.)

Evaluation of acid insoluble Ash as a natural marker in Ruminant digestibility studies.

Journal of Animal Science 1977, vol 44, n°2, 282-287

17. VAN SOEST (J.P.) 1963

Use of detergents in the analysis of fibrous feed.

II. A rapid method of determination of fiber and lignin.

J.A. O.A.C. 46, 829-835.

18. WILLIAMS (C.H.), DAVID (O.J.) and ISMAR (O.)

The determination of chromic oxide in faeces samples by atomic absorption spectrophotometry

J. Agric. Sci. 1962, 59, 381.

19. WOLTER R.
L'alimentation du cheval
1 volume. 180 pages. Vigot frères Paris. 1975.
20. WOLTER R.
Particularités de la digestion de la cellulose
chez les herbivores.
Bull. Soc. Sci. Vet. et Med. Comparées.
Lyon 1978, 80, n°1, 2140.
21. WOLTER (R), DURIX (A), LETOURNEAU (J.C.)
Influence du mode de présentation d'un aliment
complet sur la vitesse du transit digestif et la
digestibilité chez le poney.
Ann. Zootech. 1976, 25, (2) 181-188.
22. WOLTER (R), DURIX (A), LETOURNEAU (J.C.)
Evaluation chez le poney de la digestibilité du
maïs- fourrage déshydraté, des pulpes sèches de
betterave, de la luzerne déshydratée, du son de blé
de la paille de blé et des pulpes de raisins.
Ann. Zootech. 1979, 28, (1), 93-100.
23. WOLTER (R), GOUY (D), DURIX (A)
Digestibilité et activité biochimique intracœcale
chez le poney recevant un même aliment présenté
sous forme granulée, expansée, ou semi-expansée.
Ann. Zootech. 1978, 27, (1), 47-60.

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION	3
I. METHODE DE DETERMINATION DE LA DIGESTIBILITE	
1. Méthode de récolte totale	5
2. Méthode des marqueurs	5
II. MATERIEL ET METHODES	
A. Matériel expérimental	10
1. Les aliments	10
2. Les animaux	12
3. Récolte des matières sèches	12
4. Récolte du contenu intestinal	12
5. Traitement immédiat et stockage des échantillons	13
B. Méthodes d'analyses	15
1. Dosage du chrome	15
2. Dosage des matières protéiques	16
3. Dosage de la cellulose	16
C. Modalités de calcul de digestibilité	19
1. Digestibilité totale	19
2. Digestibilité partielle ou cumulée	20
3. Pourcentage digéré dans une portion du tube digestif	20
III. RESULTATS EXPERIMENTAUX	
A. Digestibilité de la matière sèche	21
B. Evolution de la composition de la matière sèche dans les différentes portions du tube digestif.	23

C. Digestibilité de la cellulose	26
1. Digestibilité totale de la cellulose	26
2. Digestibilité cumulée de la cellulose	30
3. Pourcentage de cellulose dégradée.	37
D. Digestibilité des matières azotées	40
1. Digestibilité totale	40
2. Digestibilité cumulée	43
CONCLUSIONS	47
BIBLIOGRAPHIE	49
TABLE DES MATIERES	53

I. C. VAUBECOUR
l'Imprimerie des étudiants lyonnais
11 et 13 Rue Vaubecour
LYON 69002 - Tél. 42 - 45 - 85

I. C. VAUBECOUR
l'Imprimerie des étudiants lyonnais
11 et 13 Rue Vaubecour
LYON 69002 - Tél. 42 - 45 - 85